

## ANALISA KAPASITAS DAN TINGKAT KINERJA SIMPANG BERSINYAL (STUDI KASUS SIMPANG TIGA PURWOSARI KABUPATEN PASURUAN)

Muhammad Syaikhu<sup>1</sup>, Esti Widodo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dinas Perhubungan Kabupaten Pasuruan

<sup>2</sup>PS. Teknik Sipil, Fak. Teknik Universitas Tribhuvana Tunggaladewi Malang

### Abstract

Signaled Purwosari T-junction Pasuruan is one of the intersections in Pasuruan with moderately crowded traffic as the main road connecting Surabaya - Malang and Pasuruan - Malang. Its current status requires an evaluation and a performance optimization. The primary data used for the analysis was obtained through field surveys, while the performance analysis using MKJI 1997 methods. Based on the final results of the analysis can be concluded, the level of performance intersection experiencing saturation and congestion, especially the direction from Surabaya to Malang. To obtain optimal performance of the intersection, do some alternative solutions changing light signal cycle and adding approached width. Alternative lights signal cycle change are the best solution in terms of cost because it is easy and fast, compared to adding approached width.

**Keywords:** *Optimization, signaled intersection, MKJI*

### PENDAHULUAN

Permasalahan transportasi yang sering terjadi diantaranya kemacetan lalu lintas dan tertundanya waktu perjalanan. Waktu tempuh kendaraan sebagai salah satu kriteria kinerja pelayanan jalan dan persimpangan. Permasalahan tersebut menjadi indikator dari kualitas aliran dan pengoperasian fasilitas transportasi, karena didalamnya terkait dengan kapasitas, kondisi fisik jalan dan persimpangan, hambatan samping, penggunaan tata guna lahan, dan pemilihan rute perjalanan.

Aktivitas perjalanan di Kecamatan Purwosari Kabupaten Pasuruan yang padat akan menimbulkan berbagai aktivitas sehari-hari seperti kegiatan

sosial, kerja, sekolah maupun rekreasi masyarakat dapat mempengaruhi terhadap kinerja lalu lintas di wilayah tersebut. Permasalahan yang ada di persimpangan tiga Purwosari diantaranya berupa banyaknya aktifitas dan tingginya volume kendaraan yang melewati ruas persimpangan tersebut, khususnya pada saat jam sibuk. Kurang tertibnya pengguna jalan juga merupakan permasalahan yang dapat menyebabkan sering terjadi kemacetan. Kondisi pada jam sibuk saat masyarakat Pasuruan memulai kegiatan pada pagi hari mengalami peningkatan yang cukup signifikan membuat kinerja persimpangan tiga Purwosari semakin buruk. Di sisi lain persimpangan tiga Purwosari merupakan akses utama bagi

masyarakat untuk melakukan perjalanan dari Surabaya ke Malang ataupun sebaliknya serta merupakan akses dari Pasuruan ke Malang dan Surabaya.

Kondisi pada hari – hari libur (sabtu dan minggu) volume lalu lintas mengalami peningkatan volume lalu lintas yang cukup signifikan yang menyebabkan tingkat kepadatan yang cukup tinggi bahkan dapat menimbulkan antrian yang cukup panjang di persimpangan bahkan menimbulkan kemacetan. Adanya halte bus dan parkir di badan jalan pada ruas jalan menuju Surabaya juga mempengaruhi tingkat kinerja simpang karena mengurangi manfaat ruang simpang sehingga menyebabkan kinerja persimpangan menjadi kurang efektif. Dan hal inilah yang menjadi salah satu permasalahan kemacetan dan kepadatan lalu lintas di persimpangan tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektifitas dan tingkat kinerja simpang bersinyal pada simpang tiga Purwosari Kabupaten Pasuruan dan memberikan alternatif pengaturan simpang yang lebih efektif terutama pada hari libur.

#### *Arus lalu lintas jenuh*

Data lalu lintas dibagi dalam tipe kendaraan yaitu kendaraan tidak bermotor (UM), sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV). Arus lalu lintas tiap pendekatan dibagi dalam tipe pergerakan, antara lain pergerakan belok kanan (RT), belok kiri (LT) dan lurus (ST). Gerakan belok kiri pada saat lampu merah (*Left Turning On Red, LTOR*) dapat melintasi antrian pada kendaraan yang lurus dan belok kanan. Setiap pendekatan harus dihitung

perbandingan belok kiri ( $P_{LT}$ ) dan perbandingan kanan ( $P_{RT}$ ).

Pergerakan kendaraan melewati garis henti disebuah persimpangan menunjukkan bahwa ketika lampu hijau mulai menyala, kendaraan membutuhkan waktu beberapa saat untuk mulai bergerak dan melakukan percepatan menuju kecepatan normal, setelah beberapa detik, antrian kendaraan mulai bergerak pada kecepatan yang relative konstan, ini disebut Arus jenuh. MKJI (manual kapasitas jalan Indonesia) menjelaskan arus jenuh biasanya dinyatakan sebagai hasil perkalian dari arus jenuh dasar ( $S_0$ ) yaitu arus jenuh pada keadaan standar, dengan faktor penyesuaian ( $F$ ) untuk penyimpangan dari kondisi sebenarnya, meliputi ukuran kota, gangguan samping, gradien, pergerakan kendaraan berbelok kanan dan berbelok kiri.

#### *Waktu siklus*

Waktu siklus adalah waktu total yang diperlukan suatu rangkaian lampu lalu lintas untuk menyala secara lengkap. Rentang waktu siklus lampu lalu lintas bergantung pada kondisi lalu lintas. Jika waktu siklus tersebut terlalu cepat maka ada resiko serius akan terjadinya lewat jenuh pada simpang tersebut, sedangkan waktu siklus yang terlalu panjang akan menyebabkan meningkatnya tundaan rata-rata.

Komponen-komponen waktu siklus meliputi :

- a. Waktu hijau, yaitu waktu nyala hijau pada suatu periode pendekatan (detik). Lama periode waktu hijau akan menentukan jumlah kendaraan yang

- akan melewati persimpangan selama waktu siklus tersebut.
- b. Waktu kuning (*Amber*) adalah waktu kuning dinyalakan setelah hijau dari suatu pendekat (detik). Waktu kuning dipergunakan pengemudi untuk memperlambat kendaraannya agar dapat berhenti tepat pada garis henti persimpangan. Pada umumnya waktu kuning diambil 3 detik.
  - c. Waktu merah semua (*All Red*) adalah waktu dimana sinyal merah menyala bersamaan dalam pendekat-pendekat yang dilayani oleh fase sinyal yang berlawanan. Waktu merah semua dipergunakan untuk memberikan kesempatan kendaraan terakhir (melewati garis henti pada akhir sinyal) berangkat dari titik konflik sebelum kedatangan kendaraan yang datang pada fase berikutnya pada titik yang sama.
  - d. Waktu antar hijau (*Intergreen*) adalah periode kuning dan waktu merah semua (*all red*) yang merupakan transisi dari hijau ke merah untuk setiap fase sinyal.

Kinerja suatu simpang bersinyal pada umumnya lebih dekat terhadap kesalahan-kesalahan dalam pembagian waktu hijau ( $g$ ) daripada terhadap terlalu panjangnya waktu siklus ( $c$ ). Penyimpangan kecilpun dari rasio hijau ( $g/c$ ) yang ditentukan rumus di atas menghasilkan bertambah tingginya tundaan rata-rata pada simpang tersebut.

#### *Kapasitas jalan*

Definisi kapasitas satu ruas jalan dalam satu sistem jalan raya adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat

dipertahankan (tetap) pada suatu bagian jalan pada kondisi tertentu. penambahan kapasitas perlu mempertimbangkan penambahan lebar pendekat, perubahan fase sinyal, serta pelarangan gerakan belok kanan.

#### *Derajat kejenuhan*

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas, yang digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Jika nilai derajat kejenuhan mendekati atau lebih dari satu, maka terjadi penumpukan kendaraan selama kondisi lalu lintas puncak.

#### *Antrian kendaraan*

Jumlah antrian kendaraan yang tersisa dari nyala lampu hijau sebelumnya ditentukan dari nilai derajat kejenuhan. Jika nilai derajat kejenuhan mendekati atau lebih dari satu, maka persimpangan benar-benar jenuh, sehingga menimbulkan penumpukan kendaraan selama periode lalu lintas puncak.

#### *Angka henti*

Angka henti (NS), yaitu jumlah berhenti rata-rata per smp (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati simpang.

#### *Tundaan*

Tundaan di persimpangan adalah total waktu hambatan rata-rata yang dialami kendaraan sewaktu melewati persimpangan. Tundaan rata-rata dapat dipergunakan sebagai indikator

tingkat pelayanan dari masing-masing pendekat demikian pula dari suatu simpang secara keseluruhan. Nilai tundaan dapat dipergunakan menentukan penanganan permasalahan lalu lintas, dapat berupa penambahan jalur dalam lengan atau persimpangan tidak sebidang.

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan cara survei lapangan dan pengamatan menggunakan *CCTV* untuk mendapatkan data-data primer dari simpang tiga Purwosari, yang meliputi data geometrik simpang, volume lalu lintas dan waktu siklus pengaturan lalu lintas. Hasil survei primer akan dievaluasi menggunakan metode MKJI 1997 untuk mengetahui besaran kapasitas dan tingkat kinerja simpang bersinyal.

#### *Survei geometrik simpang*

Kondisi geometrik persimpangan merupakan informasi dasar dari perhitungan lampu lalu lintas. Data survei geometrik meliputi Lebar pendekat Efektif ( $W_e$ ) pada masing-masing pendekat, Lebar Masuk ( $W_{MASUK}$ ) pada masing-masing pendekat, Lebar keluar ( $W_{KELUAR}$ ) pada masing-masing pendekat. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan rol meter, dimana pelaksanaan pengukuran dilakukan pada saat lalu lintas sepi.

#### *Survei volume lalu lintas*

Pada survei lalu lintas, kendaraan dikelompokkan menjadi 4 (empat) jenis kendaraan, yaitu kendaraan ringan, sepeda motor, kendaraan berat dan kendaraan tidak bermotor. Perhitungan

jumlah kendaraan dilakukan secara manual dengan menggunakan *hand counter* untuk tiap-tiap pergerakan lurus, belok kiri dan belok kanan. Survei dilaksanakan selama empat hari, yaitu hari Sabtu dan Minggu untuk mewakili hari libur, hari Senin dan Kamis mewakili hari kerja. Pelaksanaan survey lalu lintas dilakukan selama 16 jam, dimulai pukul 06.00 WIB dan diakhiri pukul 21.00 WIB. Perhitungan dilakukan persatuan jam untuk satu atau lebih periode, misalnya didasarkan pada kondisi arus lalu lintas rencana jam puncak pagi, siang dan sore. Arus lalu lintas ( $Q$ ) untuk setiap gerakan (belok kiri, lurus dan belok kanan) dikonversi dari kendaraan perjam menjadi satuan mobil penumpang ( $smp$ ) per jam dengan menggunakan ekuivalen mobil penumpang ( $emp$ ) untuk masing-masing pendekat terlindung dan terlawan. Nilai ekuivalensi kendaraan penumpang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai ekuivalensi kendaraan penumpang

Jenis kendaraan	Nilai emp untuk tiap pendekat	
	Terlindung (P)	Terlawan (O)
Kendaraan ringan (LV)	1.0	1.0
Kendaraan berat (HV)	1.3	1.3
Sepeda motor (MC)	0.2	0.4

Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997

#### *Pengolahan data*

Data-data primer hasil survei ini digunakan untuk menganalisa nilai derajat kejenuhan dan tundaan rata-rata kendaraan. Analisa dilakukan dengan

menggunakan metode MKJI 1997. Untuk mendapatkan nilai tundaan rata-rata, maka nilai arus jenuh, waktu siklus, waktu hijau, kapasitas dan panjang antrian perlu dianalisis terlebih dahulu. Pertama-tama ditentukan waktu siklus (c), selanjutnya waktu hijau (g) pada masing-masing fase (i) :

$$c_{ua} = (1.5 \times LTI + 5) / (1 - \sum FR_{crit})$$

Keterangan :

c<sub>ua</sub> = Waktu siklus sinyal sebelum penyesuaian (dt)

LTI = Jumlah waktu hilang per siklus (dt)

FR = Arus dibagi dengan arus jenuh (Q/S)

FR<sub>crit</sub> = Nilai FR tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada suatu sinyal

$\sum FR_{crit}$  = Rasio arus simpang = Jumlah FR<sub>crit</sub> dari semua fase pada siklus tersebut

Nilai tampilan waktu hijau dapat dihitung menggunakan rumus :

$$g_i = (c - LTI) \times (FR_{crit} / \sum FR_{crit})$$

Keterangan:

g<sub>i</sub> = Tampilan waktu hijau pada fase i (dt)

LTI = Jumlah waktu hilang per siklus (detik)

c = Waktu siklus (dt)

Nilai arus jenuh diperoleh dari rumus:

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G$$

Keterangan:

S<sub>0</sub> = Arus jenuh dasar

F<sub>CS</sub> = Faktor penyesuaian ukuran kota, berdasarkan jumlah penduduk.

F<sub>SF</sub> = Faktor penyesuaian tipe lingkungan jalan dan hambatan

F<sub>G</sub> = Faktor Kelandaian Jalan.

F<sub>P</sub> = Faktor penyesuaian parkir.

F<sub>LT</sub> = Faktor penyesuaian belok kiri

F<sub>RT</sub> = Faktor penyesuaian belok kanan

Kapasitas pendekat (C) diperoleh antara perkalian arus jenuh dengan rasio hijau (g/c) pada masing-masing pendekat:

$$C = S \times g/c$$

Keterangan:

C = Kapasitas (smp/jam)

S = Arus Jenuh

g = Waktu hijau (dt)

c = Waktu siklus

#### *Panjang antrian*

Panjang antrian adalah Jumlah rata-rata antrian smp pada awal sinyal hijau NQ dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ1) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah (NQ2). Total antrian kendaraan merupakan penjumlahan antrian yang tersisa dari nyala hijau sebelumnya dengan jumlah antrian kendaraan yang tiba selama nyala merah.

$$NQ = NQ1 + NQ2$$

dengan:

$$NQ1 = 0,25 \times c \times \left[ (DS - 1) \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{c}} \right]$$

Jika DS > 0,5 ; selain dari itu NQ1 = 0

$$NQ2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600}$$

Keterangan:

NQ1 = Jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya

NQ2 = Jumlah smp yang datang selama fase merah

GR = Rasio hijau

DS = Derajat kejenuhan

c = Waktu siklus (dt)

C = Kapasitas (smp/jam)

Q = Arus lalu lintas pada pendekat tersebut (smp/jam)

Tundaan rata-rata lengan simpang didasarkan rumus sebagai berikut :

$$D = DT + DG$$

Keterangan:

DT = tundaan lalu lintas rata-rata (dt/smp)

DG = tundaan geometrik rata-rata (dt/smp)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil survei lapangan, tipe lingkungan jalan adalah pusat bisnis atau komersial, tipe hambatan samping untuk masing-masing pendekat termasuk tinggi dengan lebar pendekat bervariasi. Waktu siklus simpang selama 120 detik dibagi dalam 3 fase lampu. Detail ukuran geometrik, arus lalu lintas dan waktu siklus simpang dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Kondisi geometrik dan kondisi lingkungan simpang

Kondisi geometrik	Pendekat arah pasuruan (U)	Pendekat arah surabaya (B)	Pendekat arah malang (S)
Jumlah jalur/arah	2/2UD	2/2D	2/2D
Lebar jalur jalan	7 m	15 m	15,5 m
Arah pergerakan	STOR, RT	LTOR, RT	ST, LT
Median jalan	Tidak ada	Ada	Ada
Tipe lingkungan	Komersial	Komersial	Komersial
Kelandaian	8%	-	-
Lebar pendekat	4,25 m	7 m	11 m
Lebar masuk (Wa)	4,25 m	7 m	11 m
Belok kiri langsung	2,15 m	3,5 m	3,5 m
Lebar keluar (We)	7 m	7 m	3,5 m
Lebar efektif (Wef)	2,15 m	3,5 m	3,5 m

Tabel 3. Sinyal lampu pada persimpangan purwosari

Posisi Lampu	Warna lampu			Jumlah (dt)
	Merah	Kuning	Hijau	
Surabaya-Malang	67	3	50	120
Pasuruan-Surabaya	87	3	30	120
Malang-Pasuruan	92	3	25	120

Tabel 4. Arus lalu lintas pada puncak jam sibuk hari kerja dan hari libur

Kode pendekat	Arah pergerakan	Jumlah arus kendaraan (kend./jam)				Total (smp/jam)
		Kendaraan ringan (LV)	Kendaraan berat (LV)	Sepeda motor (MC)	Kendaraan tak bermotor (UM)	
Hari kerja						
Utara	ST	208	107	267	0	401
	RT	119	61	117	0	222
Selatan	LTOR	513	147	665	0	837

Barat	ST	112	73	222	0	251
	LTOR	66	35	84	0	128
Utara	ST	245	53	772	0	468
	RT	151	48	339	0	281
Selatan	LTOR	554	214	953	2	1.023
	ST	156	88	302	0	331
Barat	LTOR	69	21	48	1	145
	RT	684	105	161	1	981

*Analisa tingkat kinerja simpang pada kondisi eksisting*

Semua data hasil survei tersebut digunakan untuk menghitung tingkat kinerja simpang tiga Purwosari Kabupaten Pasuruan sesuai kondisi eksisting pengaturan sinyal di lapangan.

Hasil analisa nilai kapasitas, derajat kejenuhan dan tundaan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 5.

Menurut metode MKJI 1997, nilai derajat kejenuhan simpang yang melebihi 0,85 berarti simpang tersebut mengalami

kejenuhan sehingga arus tidak stabil. Bila dilihat nilai derajat kejenuhan pada masing-masing pendekat simpang memiliki nilai yang berbeda-beda, bahkan pendekat Barat dari arah Surabaya menuju Malang mengalami kemacetan dengan nilai tundaan rata-rata sebesar 431,71 dt/smp. Oleh karena itu dibutuhkan solusi untuk meningkatkan kinerja simpang dengan mempertimbangkan beberapa alternatif solusi, antara lain pengaturan siklus lampu lalu lintas dan penambahan lebar pendekat simpang.

Tabel 5. Nilai tingkat kinerja simpang pada puncak hari kerja dan hari libur

Kode pendekat	Arus lalu lintas (smp/jam) Q	Arus jenuh (smp/jam) S	Kapasitas (smp/jam) S.g/c	Derajat kejenuhan Q/C	Panjang antrian (m) QL	Tundaan rata-rata (dt/smp) $D_i = DT+DG$
Hari kerja						
Utara	222	1.206	301	0,74	57	55,62
Selatan	251	1.953	407	0,62	22	49,96
Barat	766	1.953	814	0,94	122	63,95
Hari libur						
Utara	281	1.211	303	0,93	20	98,98
Selatan	331	1.953	407	0,81	18	63,50
Barat	981	1.952	813	1,21	172	431,71

*Analisa tingkat kinerja simpang dengan perubahan waktu siklus simpang*

Perubahan waktu siklus simpang dilakukan dengan merubah siklus menjadi 90 detik pada hari kerja dan 130 detik pada hari libur serta pengaturan waktu antar hijau, karena waktu antar hijau eksisting lapangan masih belum

sesuai dengan kebutuhan, terutama fase dari pendekat Barat. Selanjutnya hasil perubahan waktu siklus terhadap besarnya kapasitas, derajat kejenuhan dan tundaan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 6. Perubahan waktu siklus simpang menyebabkan terjadi

perubahan nilai derajat kejenuhan berkisar antara 0,84 – 1,01. Hal ini menindikasikan simpang masih mengalami kejenuhan namun nilai tundaan rata-rata sudah mengalami penurunan.

Tabel 6. Nilai tingkat kinerja simpang setelah perubahan waktu sinyal

Kode pendekat	Arus lalu lintas (smp/jam) Q	Arus jenuh (smp/jam) S	Kapasitas (smp/jam) S.g/c	Derajat kejenuhan Q/C	Panjang antrian (m) QL	Tundaan rata-rata (dt/smp) Di = DT+DG
Hari kerja (siklus lampu 90 detik)						
Utara	222	1.206	265	0,84	54	63,63
Selatan	251	1.953	300	0,84	23	64,25
Barat	766	1.953	901	0,85	80	34,85
Hari libur (siklus lampu 130 detik)						
Utara	281	1.211	277	1,01	133	177,20
Selatan	331	1.953	328	1,01	57	166,86
Barat	981	1.952	953	1,03	240	130,17

*Analisa tingkat kinerja simpang dengan penggabungan perubahan waktu siklus simpang dan penambahan lebar pendekat*

Hasil penggabungan metode penambahan lebar efektif sebesar 1

meter pada pendekat utara dan barat serta perubahan waktu siklus simpang berdampak terhadap besarnya kapasitas, derajat kejenuhan dan tundaan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai tingkat kinerja simpang setelah perubahan lebar efektif dan waktu sinyal

Kode pendekat	Arus lalu lintas (smp/jam) Q	Arus jenuh (smp/jam) S	Kapasitas (smp/jam) S.g/c	Derajat kejenuhan Q/C	Panjang antrian (m) QL	Tundaan rata-rata (dt/smp) Di = DT+DG
Hari kerja (siklus lampu 90 detik)						
Utara	222	1.543	312	0,71	33	41,47
Selatan	251	1.953	346	0,73	18	43,14
Barat	766	2.511	1.081	0,71	53	25,26
Hari libur (siklus lampu 130 detik)						
Utara	281	1.549	334	0,84	67	74,69
Selatan	331	1.953	391	0,84	36	73,59
Barat	981	2.509	1.177	0,83	115	40,40

Penggabungan metode penambahan lebar efektif dan perubahan waktu siklus simpang menjadikan nilai derajat kejenuhan 0,71 - 0,84 yang menandakan

arus mendekati tidak stabil, namun masih bisa ditolerir.



## KESIMPULAN

1. Evaluasi efektifitas pengaturan simpang tiga Purwosari, berdasarkan parameter kinerja simpang yang meliputi kapasitas (C), derajat kejenuhan (DS), tundaan rata-rata (D) yang dihasilkan dengan menggunakan metode MKJI 1997 menunjukkan bahwa tingkat kinerja simpang kurang efektif malah cenderung macet pada hari libur.
2. Perubahan waktu siklus sinyal dan penambahan lebar efektif memberikan dampak yang besar terhadap nilai derajat kejenuhan dan mengurangi tundaan rata-rata simpang, namun perubahan waktu sinyal merupakan solusi terbaik bila ditinjau dari segi ekonomis karena mudah direalisasikan di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1997. Manual Kapasitas Jalan Indonesia. Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Hobbs. FD. 1995. Perencanaan Dan Teknik Lalu Lintas. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Katipana. Musa U. 2010. Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal pada Jalan Raya Gedangan - Jalan Letjen S. Parman - Jalan Raya Ketajen - Jalan KH. Mukmin Sidoarjo. Skripsi, UPN Veteran Surabaya.
- Laila. Alif. 2007. Analisis Kapasitas Jalan Kawasan Pasar Karangayu Kota Semarang. Skripsi UNNES. Solo.
- Morlok. Edward K. 1991. Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi. Erlangga, Jakarta.
- Oglesby. Clarkson H dan Hicks. R.G. 1998. Teknik Jalan Raya. Erlangga, Jakarta.